

審査の結果の要旨

氏名：川田 樹

本論文はベイナイト鋼におけるへき開脆性破壊発生現象の数値モデル構築に関するものである。

まず、第 1 章において、高張力鋼の変遷とその中でのベイナイト組織の活用、および、溶接熱影響部におけるベイナイト組織の靱性低下について説明されている。ベイナイト組織は複雑な階層構造を有するために、靱性の予測が困難であること、特に、MA (Martensite-Austenite Constituent) 硬質相による靱性低下が問題となるが、その定量評価がなされていないこと、ベイナイト組織の靱性に関する理論構築によって靱性予測を可能とすることは工業的に重要な課題であることの記述がなされている。続いて、靱性予測モデルに関する従来研究のレビューがなされている。基本となるのは Griffith のエネルギー式であり、それと駆動力としての局所応力の大小関係によって遷移温度が定まること、しかしながら、靱性は本質的に大きなばらつきを有するため、確率論的な取り扱いが必要であり、この観点から、破壊の最弱リンク説が提案されていること、また、Griffith 式を基本として、転位堆積の効果を考慮した各種の局所破壊応力を表す式が提案されてきたが、ベイナイト組織に適用できるものは存在しないこと、さらに、これらの式に適用する有効表面エネルギーは信頼できる定量評価がなされていないこと指摘されている。これらのことがベイナイト組織の靱性予測にとって重要な課題であり、かかる観点から、本研究の目的が、転位堆積と MA を考慮したベイナイト組織に適用できる局所破壊応力式の提案、実験を通じた高精度な有効表面エネルギーの推定、および、これらに基づいた新たな靱性予測数値モデルの開発とその妥当性検証に設定された。

第 2 章では、へき開破壊発生を 3 段階に分離し、最も重要な第 2 段階局所破壊応力の定式化が行われている。定式化にあたり、従来モデルで仮定していた Hall-Petch 則によらない堆積転位数の式を求め、それをもとに新しい式を提案した。さらに、試験片切欠き部近傍の active zone を多数の体積要素に分割し、各体積要素が MA と転位堆積距離の確率分布を有することを考慮して体積要素の局所破壊応力の確率分布を求める手法が提案されている。各体積要素に作用する応力を弾塑性有限要素法によって求め、局所破壊応力と比較して最弱リンク機構を適用することによって破壊靱性の確率分布を求める理論が提案された。この理論を MA の分布を系統的に変化させた試験鋼材の破壊靱性試験に適用し、MA 割れからベイナイト地にき裂が突入する際の有効表面エネルギーが算定された。

第 3 章では、へき開き裂が有効結晶粒界を突破する破壊の第 3 段階に対して考

察を加え、実験鋼材を用いてこの段階に対応する有効表面エネルギーの算定が行われている。算定にあたり、破壊靱性試験の破壊起点を同定し、起点となったへき開ファセットの寸法と面方位、および、隣接するへき開ファセットの面方位を3次元計測によって決定し、有限要素解析によって求めた起点位置における応力テンソルの情報と組み合わせることによって隣接ファセットき裂に対する混合応力拡大係数を求め、その値から有効表面エネルギーを算定する新たな手法が提案されている。結果として、へき開破壊の第3段階に対応する有効表面エネルギーは緩やかな温度依存性を有すること、また、Ni添加量の依存性はほとんどないことが明らかとされている。き裂伝播に伴うき裂先端の歪速度が熱活性化過程よりもフォノン粘性が支配的となる範囲であることがその理由であると考察されている。

第4章では、上記の結果を総合化して、MAを含むベイナイト組織の多段階へき開破壊靱性予測モデルが提案されている。それを検証するためにモデル鋼材を用いた破壊靱性試験が実施された。モデル鋼材ではMAの分布と有効結晶粒径を変化させた。本研究で提案したモデルによって破壊靱性値の遷移挙動とばらつきが予測できることが確認されている。さらに、本研究で開発したモデルを用いて因子分析を行い、MA分布などのマイクロ組織因子が破壊靱性値に及ぼす影響が定量的に明らかとされた。

第5章では、実際の溶接部で生じる巨視的マイクロ組織不均一性を考慮したへき開破壊の評価法について新たな尤度関数を提案し、数値モデルシミュレーションによって解析が行なわれている。上記のへき開破壊と融合することによって実際の材料におけるへき開破壊を評価できることが示された。

第6章では、結論を述べ、本論文が総括された。

以上のとおり、本研究は溶接部をはじめとするベイナイト組織の破壊靱性を予測するために最も重要な材料因子である有効表面エネルギーを正確に計測するとともに、へき開破壊靱性を予測するモデルを提案し、その有効性を実証したものである。新規性に富むとともに、将来の材料開発にも利用できる可能性を有する、工業的にも価値の高いものである。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。

以上